

CF1 – Système légumier de monoculture de chou-fleur en Bretagne
--

Intitulé du cas-type	Système légumier en Bretagne : monoculture de chou-fleur avec pratiques de référence
Localisation	Bretagne
Type de sol	Sable limoneux
Type de climat	Série climatique 1996-2016
Rotation	Chou-fleur hâtif – Chou-fleur tardif
Pratiqué ou prototype	Prototype
N° Cas-types comparables	CF2
Contact	Denis LE HIR, Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne

I. Contexte

a. Localisation et présentation générale du SdC

La région Bretagne est connue pour ses problèmes de pollutions des eaux de rivière par les nitrates, conséquence de la forte concentration d'élevages. Les exploitations légumières spécialisées (près de 30 000 ha de légumes frais cultivés sur la côte Nord) sont également source de pertes d'azote en raison d'une minéralisation importante et régulière, notamment en période de drainage, et, parfois, d'une sur-fertilisation sécuritaire de la part des producteurs.

Malgré des surfaces en baisse, le chou-fleur reste la première production légumière bretonne avec près de 14 000 ha cultivés en 2017. Le chou-fleur d'hiver, récolté de janvier à début juin soit plus de cinq mois après plantation, représente 64 % de la production (Source Agreste).

Dans les exploitations légumières en agriculture conventionnelle, les besoins azotés sont couverts essentiellement par l'apport d'engrais minéraux et par l'import d'effluents d'élevage (fumiers ou lisiers) issus d'exploitations présentes dans ou en bordure de la zone légumière. La valorisation des couverts végétaux en tant que source d'azote est recherchée par les agriculteurs biologiques mais l'utilisation de légumineuses est restreinte dans les CIPAN implantées avant l'hiver à hauteur de 20 % ; le Coco de PAIMPOL est la seule légumineuse récoltée (autour de 700 ha).

Le système de cultures présenté est la succession de cultures mise en place en 2017 et 2018 par un producteur légumier de ROSCOFF (29) dans le cadre du programme Breizhlégum'eau. Ce programme avait pour objectif de faire évoluer les pratiques des producteurs afin de réduire l'impact des cultures légumières sur la ressource en eau dans les bassins versants côtiers (pollution par les nitrates et pollution par les substances actives phytosanitaires).

La parcelle est située dans le bassin versant « Algues Vertes » de l'Horn : des actions sont menées auprès des agriculteurs afin d'améliorer leurs pratiques pour ramener le taux de nitrates au-dessous de la norme de 50 mg/l et faire disparaître les échouages d'ulves sur les plages bordant l'embouchure.

b. Climat

La zone légumière du Nord de la Bretagne est caractérisée par un climat océanique doux et humide. Les précipitations sont réparties sur l'année pour un cumul moyen de 874 mm (Graphique 1). Le drainage (Graphique 2) reste concentré sur l'automne et l'hiver (octobre à mars). La lame drainante atteint en moyenne 500 mm en sol nu.

La douceur des températures (Graphique 1) favorise une minéralisation régulière tout au long de l'année, y compris en hiver où, si elle est ralentie par la baisse des températures, la minéralisation libère de l'azote sujet à la lixiviation. Le nombre de jours de gel est réduit, notamment en zone côtière. La minéralisation baisse également en été quand l'eau disponible dans le sol devient limitante.

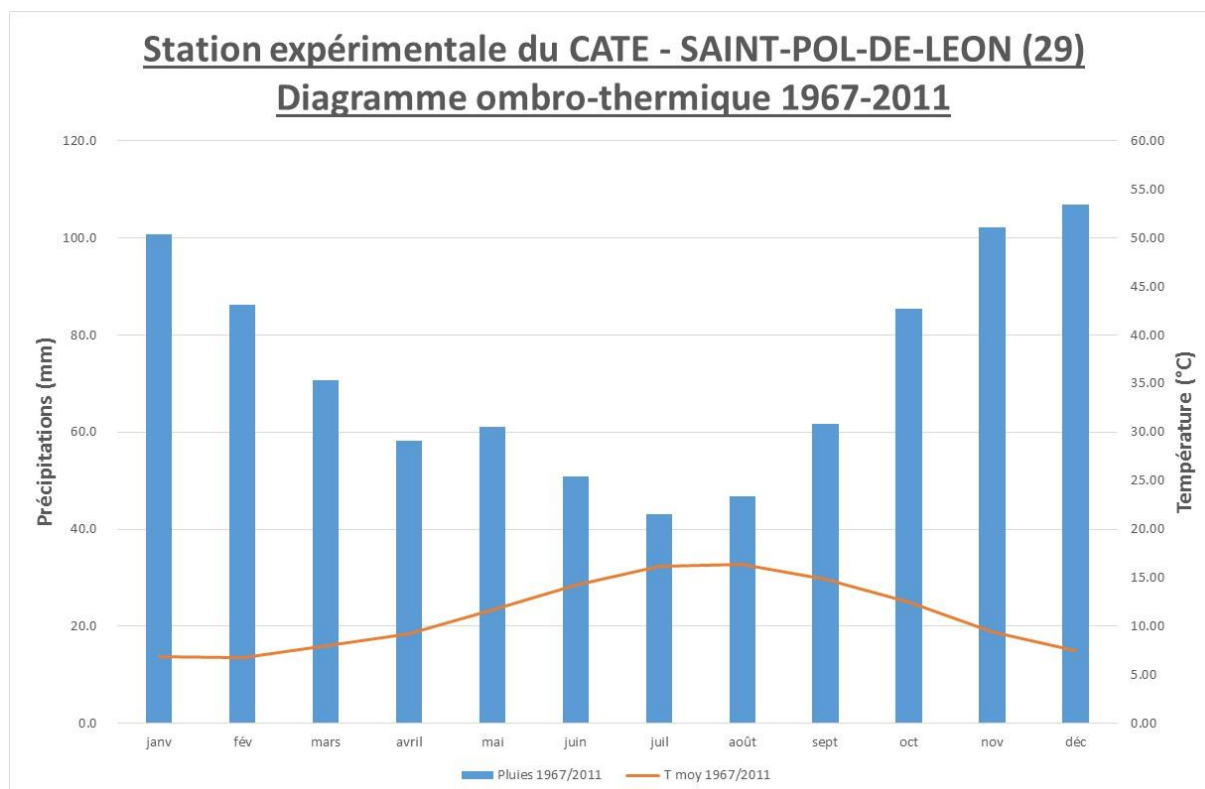


Figure 1 : Répartition annuelle des précipitations à SAINT-POL-DE-LEON (29).

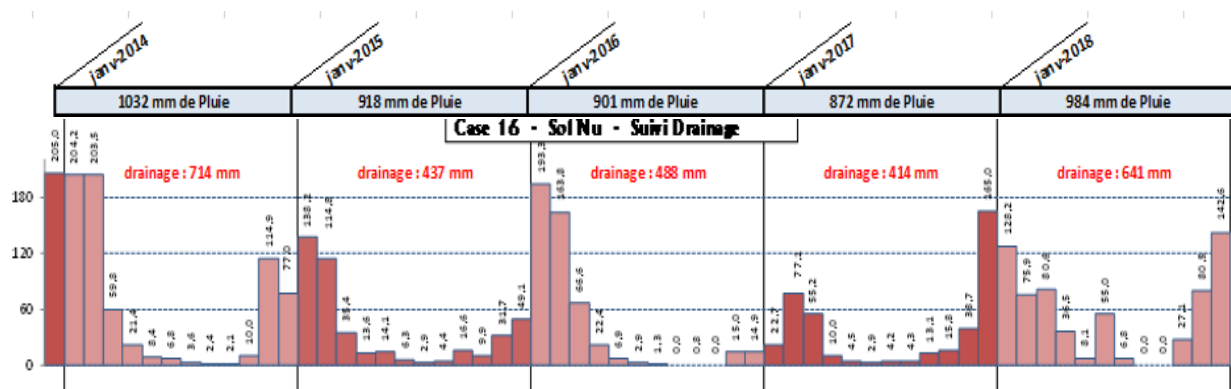


Figure 2 : Drainage mesuré en cas lysimétriques sur la station expérimentale légumière et horticole du CATE à SAINT-POL-DE-LEON de 2014 à 2018.

c. Sol sur lequel est « testé » le SdC :

Les sols du littoral Nord breton sont formés majoritairement de limons éoliens profonds. Dans cette parcelle située proche de la côte, le sol est plus sableux (localement qualifié de « demi-sable ») du fait de l'apport éolien ultérieur de sables. Le pH est maintenu à un niveau élevé pour limiter les risques de Hernie des crucifères sur la culture de chou-fleur. La minéralisation est élevée dans ces sols en raison de la faible teneur en argiles, du pH élevé et de la répétition des interventions sur le sol (labour pour l'incorporation des résidus de culture, binages et buttages). Le taux de matière organique est élevé dans cette parcelle grâce à l'apport régulier d'effluents d'élevage et/ou d'algues (Tableau 1).

Tableau 1 : Principales caractéristiques du sol

Profondeur (cm)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)	Densité apparente	Cailloux (%)	Norg (%)	MO (%)	C/N	pH _{eau}
0-25	12,4	41,6	46,0	1,4	0	0,182	4,28	13,6	8,2
25-70	12,4	41,6	46,0	1,4	0				

II. Le système de culture

La succession culturale présentée ici correspond à la modalité « Pratiques habituelles » de l'exploitation (Tableau 2).

Tableau 2 : itinéraire technique de chaque culture de la succession

Culture	Implantation et travail du sol	Stratégie de fertilisation	Irrigation	Récolte (date, destruction et gestion des couverts) et niveau de rendement
Chou-fleur d'hiver hâtif	Plantation en mini-mottes à la deuxième décennie de juillet (12 000 plants/ha). Avant plantation : déchaumage, labour puis préparation superficielle. 3 binages à 15 jours d'intervalle à partir du 10 août.	33 t/ha de Fumier de bovins stocké début juillet. 49 uN/ha apportés fin octobre sous forme de Nitrate de chaux.		Récolte en 2 à 5 passages à partir de début janvier. Rendement : 9 000 têtes/ha. Résidus détruits par plusieurs passages de déchaumage (mi-mars et mi-mai) pour maintenir la propreté de la parcelle.
Chou-fleur d'hiver tardif	Plantation en mini-mottes début août (12 000 plants/ha). Avant plantation : déchaumage, labour puis préparation superficielle. 3 binages à 15 jours d'intervalle à partir du 20 août.	84 uN/ha apportés début février sous forme de sulfate d'ammoniaque		Récolte en 2 à 5 passages à partir de début avril. Rendement : 9 000 têtes/ha. Résidus détruits au déchaumage suivant.

Dans ce cas-type, seule la succession de deux cultures de chou-fleur sera présentée.

La fertilisation azotée a un impact important sur la production de choux-fleurs en agriculture conventionnelle : primo, la disponibilité d'azote permet un fort développement végétatif de la plante permettant la production de choux-fleurs de gros calibre, mieux rémunérés ; deuxio, ce développement végétatif conserve la couleur blanche de la « pomme », qualité recherchée par les acheteurs, en la protégeant des rayons du soleil. En agriculture biologique, le marché recherche plutôt des choux-fleurs de calibre moyen et les exigences sur la blancheur des inflorescences sont réduites.

Le chou-fleur mobilise 300 à 350 unités d'azote par hectare. Environ 90 unités uniquement sont exportées à la récolte. Le chou-fleur est donc classé parmi les précédents riches. Dans cette succession de cultures de choux, la minéralisation des résidus du chou-fleur précédent et la minéralisation basale de l'humus du sol couvrent les besoins de la culture à l'automne. Les apports autorisés en début de culture permettent aux producteurs l'apport d'amendements organiques. En effet, du fait de la spécialisation des exploitations en production de légumes après arrêt de l'élevage, la diminution des apports d'effluents d'élevage avait entraîné une chute des taux de matière organique des sols. Malgré un taux de matière organique satisfaisant dans cette parcelle, l'exploitant poursuit l'entretien organique.

Selon la durée du cycle, un ou deux apports complémentaires d'azote de 50 uN sont autorisés sous forme minérale en fin de cycle. Ici, l'apport est réalisé en une fois sur Chou tardif pour simplifier le travail (l'exploitant travaille seul).

Les pratiques de travail du sol correspondent aux pratiques majoritaires des producteurs légumiers bretons : labour quasi systématique à chaque implantation de culture pour enfouir les résidus de culture du précédent, binages et buttage fréquents. Un désherbage chimique complète les binages.

III. Résultats attendus en termes de pertes d'azote

La performance environnementale du système de cultures modélisé sera évaluée grâce au tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du système de culture

Seuils de pertes	Volatilisation d'ammoniac : > 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d'ammoniac : 5 % à 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d'ammoniac : < 5 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)
Lixiviation de nitrate : < 5 kg N/100 mm de lame d'eau drainante		Haute performance azotée (HPN)	Haute performance azotée (HPN)
Lixiviation de nitrate : 5 à 10 kg N/100 mm de lame d'eau drainante			Haute performance azotée (HPN)
Lixiviation de nitrate : > 10 kg N/100 mm de lame d'eau drainante			

Légende :

	Haute performance azotée (HPN)
	Performance azotée partielle
	Basse performance azotée

Dans notre région où la teneur en nitrates des eaux de surface est un problème environnemental important, l'attention sera focalisée sur les pertes du système en nitrates par lixiviation.

IV. Présentation des simulations réalisées avec Syst'N®

Nous avons simulé une rotation bisannuelle Chou-fleur d'hiver hâtif – Chou-fleur d'hiver tardif. Le retour du chou-fleur sur une parcelle est fréquent en zone légumière mais la monoculture de chou-fleur est une situation rare. Les intercultures laissées libres par le chou-fleur peuvent être occupées par d'autres cultures légumières mais celles-ci ne sont pas disponibles à ce jour pour la simulation avec le modèle Syst'N. Des grandes cultures ou des prairies peuvent aussi entrer en rotation avec le chou-fleur dans le cas d'exploitations mixtes élevage-légumes ou d'exploitations disposant d'une surface agricole importante. Cette simulation n'est donc pas représentative des rotations mises en place en

zone légumière. Elle a pour objectif de mettre en avant les problématiques liées à la gestion de la fertilisation azotée du chou-fleur.

Les données utilisées pour la simulation sont les pratiques habituelles d'une exploitation du réseau Breizhlégum'eau. Dans chacune des 25 exploitations du réseau, des reliquats azotés ont été mesurés mensuellement sur une parcelle divisée en deux : une partie où les exploitants ont conduit les cultures selon leurs pratiques habituelles et une seconde partie où étaient testées des pratiques alternatives. Cette succession a été simulée en boucle sur une série de 21 années climatiques (1996-2016) mesurées sur la station expérimentale du CATE à SAINT-POL-DE-LEON, à quelques kilomètres de la parcelle. La simulation sur une longue durée permet d'identifier les risques de lessivage dans différentes situations hivernales (hiver très humide ou hiver à précipitations modérées, hiver doux ou hiver plus froid).

V. Evaluation des pertes d'azote

a. Présentation des résultats moyens du système de culture :

Les flux d'azote moyens à l'échelle du système de culture sont présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Flux moyens d'azote total simulés à l'échelle du champ cultivé, calculés sur l'ensemble de la rotation ou succession, ramené à l'année

a	Entrées d'azote (kgN/ha/an)	a1 : Apport: fertilisation minérale	67
		a2 : Apport: fertilisation organique	87
		a3 : Fixation biologique d'azote	0
b	Sorties d'azote (kgN/ha/an)	b1 : Exportation par les récoltes	48
		b2 : Exportation par les résidus de cultures exportés de la parcelle	65
c	Minéralisation de l'azote du sol et des résidus de culture (kgN/ha/an)		302
d	Pertes d'azote moyennes annuelles (kgN/ha/an)	d1 : Protoxyde d'azote (N ₂ O)	0,3
		d2 : Ammoniac (NH ₃)	2
		d3 : Nitrate lessivé (NO ₃ ⁻)	81
		d4 : Nitrate ruisselé (NO ₃ ⁻)	0
e	Lame d'eau drainante annuelle (mm d'eau/an)		437

A partir des flux simulés et présentés dans le Tableau 4 nous sommes en mesure de calculer des indicateurs de performances azoté de cette situation culturale (Tableau 5).

Tableau 5 : Indicateurs retenus pour évaluer les performances azotées de la situation culturale.

a-b	Bilan apparent : Entrées – Sorties par exportation (kgN/ha/an)	41
a - (b+d)	Variation du stock d'azote total dans le sol (kgN/ha/an)	-42
(d3*100)/e	Pertes d'azote par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgN/100 mm)	19
(d3*100*4.43)/e	Pertes de nitrates par lixiviation pour 100 mm de lame d'eau drainante (kgNO ₃ ⁻ /100 mm) ou concentration moyenne en nitrate (NO ₃ ⁻) sous le profil (mgNO ₃ ⁻ /l)	82
d2/(a1+a2)	Pertes d'azote sous forme d'ammoniac (NH ₃) en % des apports totaux	1

En l'absence de légumineuses, les entrées d'azote sont constituées par les engrais minéraux apportés en fin de cycle (67 kg N/ha/an) et l'apport de fumier de bovins (175 kg N/ha) tous les deux ans avant plantation du Chou hâtif, dont 35 kg sont efficaces sur la culture). Ces apports mettent donc 84

kg N efficace/ha à disposition du Chou-fleur hâtif et 84 kg N efficace/ha également pour le Chou-fleur tardif.

Ce sont 343 kg N/ha/an qui sont mobilisés en moyenne par les Choux, dont 113 kg N sont exportées à la récolte.

Le bilan apparent est donc positif de 41 kg/ha/an mais les pertes à hauteur de 83,3 kg N/ha/an entraînent une variation négative du stock d'azote dans le système. Les pertes représentent 54,1 % de l'azote total apporté (154 kg N/ha/an). Elles sont aussi égales à l'azote efficace apporté chaque année. Les pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac sont faibles (2 kg/ha/an). Les pertes par dénitrification sous forme de N_2O s'élèvent en moyenne à 0,3 kg N/ha/an. Elles sont continues sur la succession, généralement plus élevées sur les trimestres chauds (mai-juin-juillet ou août-septembre octobre). Dans les lignes qui suivent, nous concentrerons donc notre propos sur les pertes d'azote nitrique par lixiviation.

Ces pertes sont majoritairement des pertes par lixiviation des nitrates (81 kg N/ha/an) en raison d'une lame drainante de 437 mm, soit une concentration moyenne de 82 mg NO_3^-/l sous le profil.

b. Dynamiques et pertes azote : sorties graphiques Syst'N®

i. Périodes à risque de lixiviation

Les pertes d'azote par lixiviation sont décrites dans la Figure 3. Les pertes indiquées sont des moyennes calculées pour chaque culture les années climatiques sur lesquelles la culture concernée est présente. Les pertes sont concentrées sur la période de drainage : les deux trimestres novembre-décembre-janvier puis février-mars-avril concentrent les pertes d'azote. Pour rappel, les mois de novembre, décembre et janvier sont en moyenne les mois les plus pluvieux de l'année (voir Figure 2).

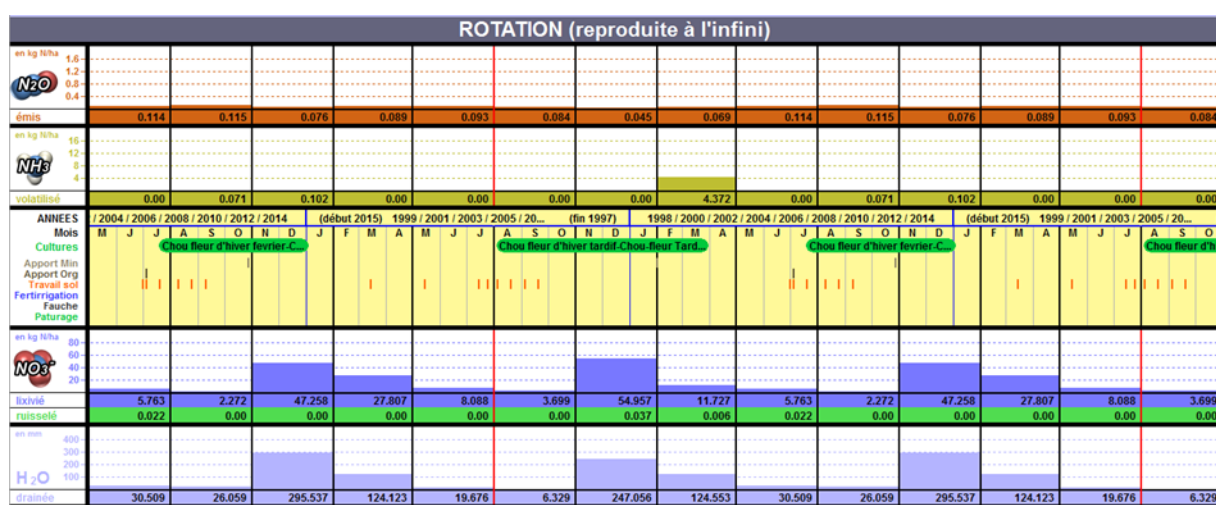


Figure 3 : Dynamique moyenne des pertes d'azote dans la succession.

N.B. : l'ensemble des Figures présentées ci-après sont disponibles au téléchargement sous format image (png) pour une meilleure lisibilité et plus grande facilité d'utilisation de ces Figures pour le conseil ou la formation.

Lors de pluies automnales précoces, la lixiviation d'azote nitrique peut démarrer dès le mois d'octobre (Figure 4).

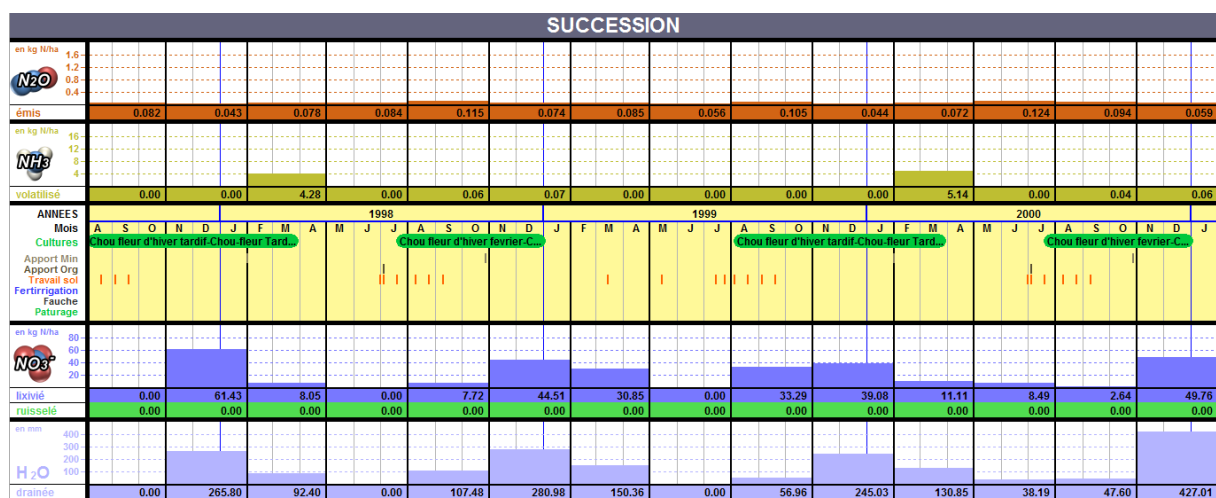


Figure 4 : Exemples de drainage automnal précoce en 1998 et 1999.

Le lessivage peut aussi avoir lieu ponctuellement sur les trimestres mai-juin-juillet (Figure 5). Ces périodes de drainage produisent des lames d'eau souvent plus chargées en nitrates : la concentration moyenne de la lame drainée au trimestre août-septembre-octobre 1999 est de 259 mg NO_3^-/l ; la concentration moyenne de la lame drainée au trimestre mai-juin-juillet 2007 est de 213 mg NO_3^-/l ¹.

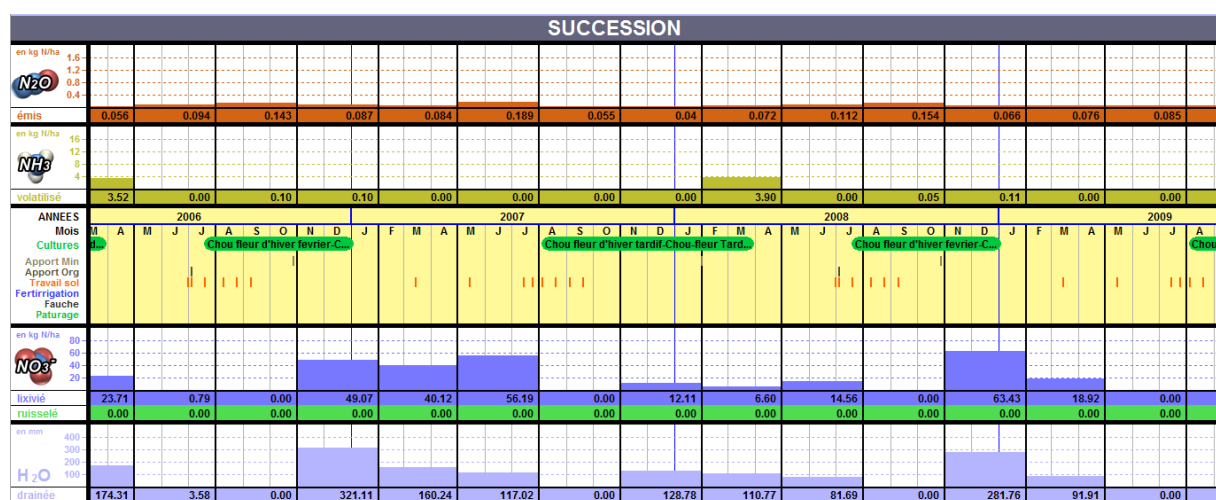


Figure 5 : Exemples de drainage estival en 2007 et 2008.

ii. Variation inter-annuelle des pertes par lixiviation

Le Tableau 6 illustre la variabilité inter annuelle des pertes et de la lame drainante sur les 19 années de simulation complète sur les deux trimestres ciblés. Les pertes varient de 19 à 114 kg N/ha et la lame drainante de 186 à 711 mm.

Tableau 6 : Répartition des pertes et des lames drainantes annuelles en période hivernale par classes.

	Pertes (kg N/ha/an)				Lame drainante (mm)			
	< 50	50 à 75	75 à 100	> 100	< 300	300 à 400	400 à 500	> 500
Chou-fleur hâtif	1	4	4	1	2	3	4	1
Chou-fleur tardif	2	2	5	0	2	5	1	1

¹ Pour calculer ces concentrations, on pose (quantité d'azote lixiviée sur le trimestre / lame drainante sur le trimestre) x 100 x 4,43 = concentration en nitrate de la lame drainante.

iii. Variation inter-cultures des pertes par lixiviation

Le Tableau 7 détaille, par trimestre, les pertes moyennes d'azote nitrique et les lames drainantes sous les différentes cultures.

Tableau 7 : Comparaison des pertes et des lames drainantes moyennes sous les deux cultures

Trimestre	Chou-fleur hâtif			Chou-fleur tardif	
	novembre décembre janvier	février mars avril		novembre décembre janvier	février mars avril
Pertes N-NO ₃ ⁻ (kg N/ha)	47	27		55	12
Lame drainante (mm)	296	124		247	125

Au trimestre novembre-décembre-janvier, les deux cultures couvrent le sol de manière équivalente. La lame drainante sous le Chou-fleur hâtif est supérieure d'environ 20 % à la lame sous Chou-fleur tardif. Cette différence s'explique par la variabilité inter-annuelle des précipitations (voir ci-dessus). Malgré une lame drainante inférieure, les pertes sont supérieures sous le Chou-fleur tardif.

En revanche, au trimestre février-mars-avril, les lames drainantes sont équivalentes malgré la récolte du Chou-fleur hâtif. Là encore, la variabilité inter-annuelle des conditions climatiques explique cette situation. Les pertes d'azote nitrique vont toutefois du simple au double entre le Chou-fleur tardif (refertilisé début février) et le Chou-fleur hâtif.

Ces différences s'expliquent par la dynamique de l'azote minéral dans le sol (Figure 6).

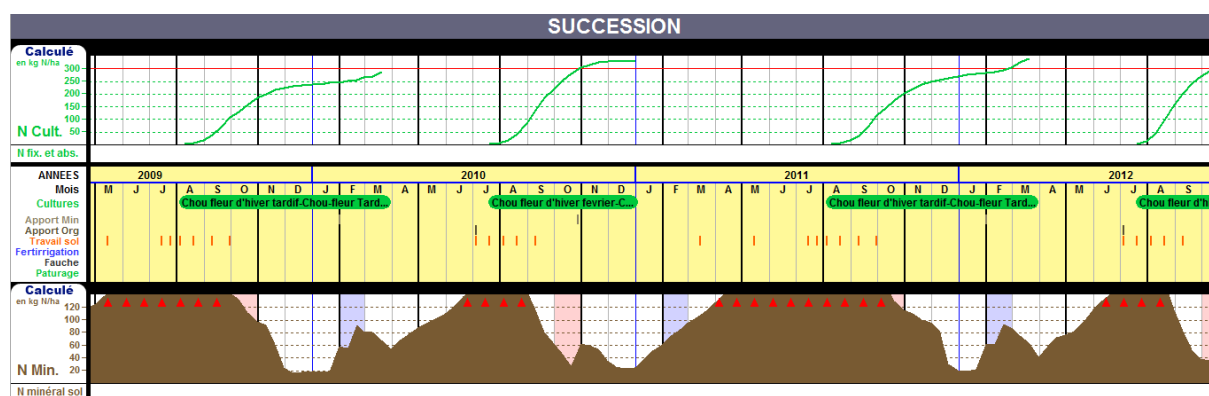


Figure 6 : Exemple de dynamique de l'azote minéral du sol sur les années 2009 à 2012.

La succession Chou-fleur hâtif – Chou-fleur tardif entraîne des flux d'azote importants dans le sol en raison de la forte minéralisation des sols légumiers (limons peu argileux, pH élevé, interventions nombreuses sur le sol) et de la minéralisation des résidus de chou-fleur, riches en azote (200 kg restitués).

Lors de la période d'interculture entre le Chou hâtif et le Chou tardif, l'azote minéralisé s'accumule dans le sol à un niveau important. Le Chou tardif mobilise l'azote du sol après implantation et la quantité disponible diminue progressivement. Si l'on regarde la courbe N Min. de la Figure 6 en 2009 et 2011, on observe une accélération de la baisse de l'azote disponible, respectivement début novembre et début décembre : ces chutes sont dues au démarrage du drainage. Il y a alors environ 80 kg N/ha disponible dans le sol. Le drainage baisse la teneur en azote minéral autour de 20 kg N/ha, teneur à laquelle on considère que le chou-fleur n'arrive plus à mobiliser l'azote restant. La quantité d'azote absorbée par la culture stagne alors (courbe N Cult.). Malgré la poursuite de la minéralisation, de manière réduite néanmoins, le stock d'azote nitrique reste bas en raison de la poursuite du

drainage. Il ne remonte significativement qu'avec l'apport minéral réalisé début février, entraînant une relance marquée de l'absorption d'azote par la plante.

L'azote accumulé dans le sol à l'implantation du Chou-fleur hâtif est important également, même si la période où la minéralisation nette (Minéralisation basale + Minéralisation des résidus – Absorption) est positive est plus courte en raison d'une récolte plus tardive du précédent. Le Chou-fleur hâtif bénéficie également de l'azote rendu disponible par l'apport de fumier. La Figure 6 montre que l'absorption d'azote par le Chou-fleur hâtif est plus rapide (pente plus importante de la courbe N Cult.) en raison d'un cycle de développement plus court. La chute de l'azote minéral du sol est elle aussi plus rapide et au mois d'octobre on atteint quasiment le niveau incompressible de reliquat. L'absorption plus rapide de l'azote à l'automne par le Chou-fleur hâtif explique que les pertes soient inférieures sur le trimestre novembre-décembre-janvier.

La courbe N Min. connaît ensuite un rebond suite à la refertilisation minérale de fin de cycle du Chou hâtif. La minéralisation nette reprend à partir de début janvier, alors que l'absorption par le chou-fleur s'arrête. L'azote qui commence alors à s'accumuler dans le sol est soumis à la lixiviation en cas de drainage. Ceci explique que les pertes soient alors plus importantes après le Chou-fleur hâtif sur le trimestre février-mars-avril alors que le Chou-fleur tardif continue d'assimiler de l'azote minéral.

VI. Discussion des résultats – diagnostic sur les performances azotées et les pertes

a. Comparaison de la simulation aux reliquats mesurés

La Figure 7 positionne sur la courbe N Min. de l'azote minéral du sol simulée par Syst'N les reliquats mesurés sur l'exploitation dans le cadre du réseau Breizhlégum'eau. Ces mesures ont été faites en 2017 et 2018, années non disponibles dans la simulation. Elles sont représentées par des petits carrés rouges, à ne pas confondre avec les triangles rouges qui indiquent que les données sont supérieures à l'intervalle retenu pour la représentation graphique. Les reliquats sont comparés aux données simulées sur les années 2009 et 2010, proches de la moyenne sur la lame drainante et les pertes.

On peut observer que la dynamique simulée de l'azote est bien dans les ordres de grandeurs des reliquats mesurés. On retrouve le bas niveau des reliquats en hiver, la reprise de la minéralisation au printemps jusqu'au pic précédant l'implantation du Chou-fleur tardif à plus de 300 kg N/ha/an, la chute de l'azote minéral à l'automne, un pic suite à la re-fertilisation du Chou-fleur tardif et une relance de la minéralisation au printemps. On constate un décalage temporel entre les valeurs simulées et les valeurs mesurées, probablement dû à la comparaison d'années différentes.

La qualité de la simulation est donc satisfaisante.

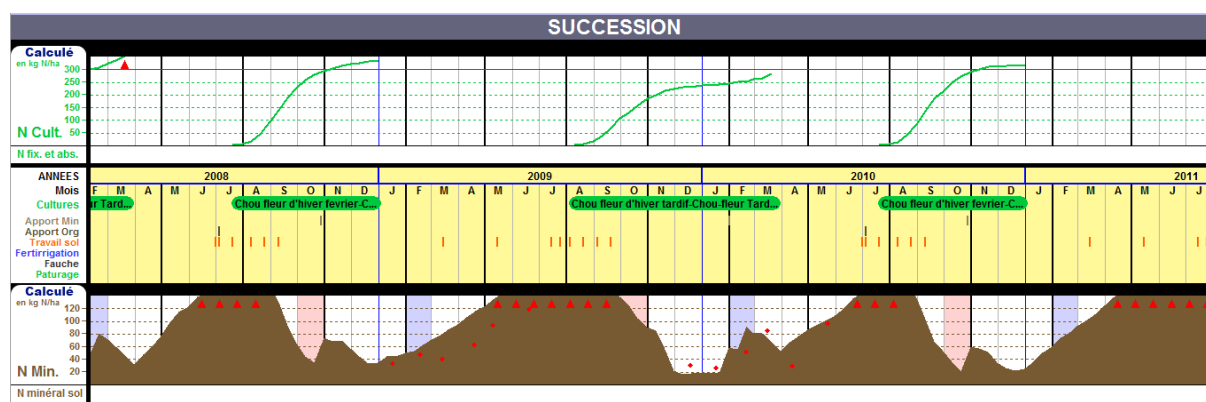


Figure 7 : Comparaison des valeurs mesurées (2017-2018) à des valeurs simulées.

b. Diagnostic sur les performances azotées

Tableau 8 : Seuils de satisfaction des pertes en nitrates et en ammoniac du cas-type CF1.

Seuils de pertes	Volatilisation d'ammoniac : > 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d'ammoniac : 5 % à 10 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)	Volatilisation d'ammoniac : < 5 % des apports (kg N pour 100 kg N apportés)
Lixiviation de nitrate : < 5 kg N/100 mm de lame d'eau drainante			
Lixiviation de nitrate : 5 à 10 kg N/100 mm de lame d'eau drainante			
Lixiviation de nitrate : > 10 kg N/100 mm de lame d'eau drainante			18,5 kg N/100 mm de lame d'eau drainante 1 kg N pour 100 kg N apportés

Légende :

	Haute performance azotée (HPN)
	Performance azotée partielle
	Basse performance azotée

Les pertes simulées par Syst'N dans cette succession Chou-fleur d'hiver hâtif – Chou-fleur d'hiver tardif s'élèvent à un total de 84 kg N/ha/an, dont 82 kg d'azote nitrique lixivié entraîné sous le profil par une lame d'eau à une concentration moyenne de 82 mg NO₃/l (soit 18,5 kg N/100 mm de lame d'eau drainante) et 2 kg N/ha/an volatilisé (1 % des apports totaux). Au regard des performances attendues (Tableau 8, page précédente), ce système de cultures a des performances azotées insuffisantes. Il ne répond pas aux attentes dans ce bassin versant.

i. Contraintes environnementales du système

Les importantes pertes d'azote du système de culture sont engendrées par :

- L'importance des précipitations hivernales engendrant la lixiviation de l'azote nitrique présent dans le sol.
- Une minéralisation importante entretenue par le faible taux d'argile et de carbonates des sols, un pH élevé, un climat doux et humide, un travail du sol répété, la richesse des résidus de la culture de chou-fleur.
- Dans cette exploitation, la minéralisation est également entretenue par le taux de matière organique élevé du sol, conséquence d'apports réguliers de fumier. Mais un tel taux de matière organique est peu fréquent dans les systèmes de cultures légumiers de la région.

L'absence de couverture des sols dans ce système de cultures est important (8 mois sur 24). Toutefois les sols sont couverts à l'automne par la culture de chou-fleur, mobilisant de grandes quantités d'azote. L'observation des résultats de simulation réalisée plus haut a montré que les pertes d'azote sont liées à l'accumulation de l'azote minéralisé dès le printemps. Il est alors nécessaire de maîtriser, en amont de la période de drainage, le flux d'azote minéral présent dans le sol.

ii. Pratiques culturales aggravantes

- Refertilisation minérale du chou-fleur

L'exploitant réalise un apport unique de 84 unités d'azote à l'hectare sur Chou-fleur tardif. Cette pratique n'est pas conforme à la réglementation qui limite les apports à 50 kg N/ha en cours de culture, mais autorise un double apport sur Chou-fleur tardif. Cette pratique peut s'expliquer par la simplification de l'organisation du travail par l'exploitant, qui travaille seul sur son exploitation.

Il est difficile de déterminer l'impact de cet excès visuellement. Les sorties graphiques montrent une bonne absorption de l'azote apporté par la plante. La simulation de cette même succession avec une impasse sur cet apport montre une baisse des pertes d'azote nitrique de 5 kg N/ha. Un apport de 42 uN/ha (demi-dose) donne le même résultat de perte d'azote nitrique que l'impasse mais provoque des pertes par volatilisation (1 kg N/ha/an – Figure 8).

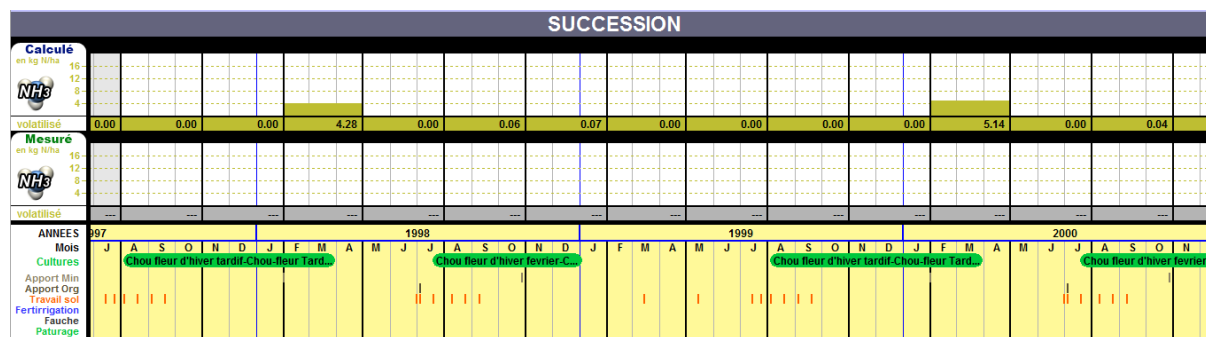


Figure 8 : Simulation des pertes d'azote par volatilisation sur les années 1997-2000.

En effet, si les pertes d'azote par volatilisation sont faibles (2 kg/ha/an), il faut noter (Figure 8) que chaque apport de sulfate d'ammoniaque sur Chou-fleur tardif entraîne une perte moyenne de 4 kg N, soit près de 5% de la quantité d'azote apportée. Sur ces sols à pH élevé, tout apport d'azote ammoniacal est sensible à la volatilisation, même en conditions hivernales douces et humides. Se pose alors la question du choix des engrais : le sulfate d'ammoniaque est très utilisé en zone légumière pour son prix modéré et l'apport de soufre, fortement consommé par les choux.

Pour finir sur la refertilisation minérale des choux, il faut ajouter qu'elle n'est pas systématique chez cet exploitant qui adapte sa décision en fonction de la vigueur de la parcelle et des observations du réseau collectif de suivi des reliquats EQUITERRE. En cas de doute, il fait mesurer le reliquat azoté.

- Apport d'amendement organique

De même, il est difficile d'estimer sur la simple observation des sorties graphiques du modèle la participation propre de l'azote minéral rapidement libéré par l'apport de fumier de bovin (35 kg d'azote efficaces). Cet azote vient néanmoins grossir le flux d'azote disponible à l'automne pour le Chou-fleur hâtif duquel 47 kg N/ha sont perdus en moyenne sur le trimestre novembre-décembre-janvier.

Si cet apport a un intérêt certain pour l'entretien de la fertilité de la parcelle, la question du choix du produit est à nouveau posée. Un amendement organique composté aurait le même effet à long terme sans venir gonfler l'azote lixiviable à court terme.

iii. Autres leviers pour maîtriser le flux d'azote minéral

L'interculture entre le Chou-fleur hâtif et le Chou-fleur tardif est une période importante dans la gestion de ce système de culture. Nous avons montré qu'une partie de l'azote minéralisé en début printemps peut être perdue par lixiviation lors d'épisodes pluvieux. L'azote restant dans le sol s'accumule jusqu'à la mise en place du Chou tardif dans des proportions supérieures à la capacité d'absorption du chou à l'automne, l'azote restant étant alors soumis au drainage hivernal.

L'azote minéralisé au printemps peut être organisé par une culture qui sera exportée et valorisée (orge de printemps par exemple ou cultures légumières de printemps comme la pomme de terre primeur ou l'échalote) ou restituée au sol. La fertilisation du Chou-fleur tardif sera à réadapter en conséquence.

VII. Conclusion

Le choix de la succession de cultures présentée ici avait pour objectif de montrer les problématiques propres à la fertilisation de la culture de chou-fleur dans les zones légumières du Nord de la Bretagne. La succession Chou-fleur d'hiver hâtif – Chou-fleur d'hiver tardif est un système de cultures à performance azotée insuffisante. En effet, le modèle Syst'N simule une perte moyenne de 18,5 kg N/100 mm de lame d'eau drainante. Cette concentration est trop élevée au regard des problèmes de développement d'algues vertes à l'embouchure du bassin versant.

Ces pertes sont dues à une lame drainante importante et à un flux important d'azote nitrique libéré dans le sol par la minéralisation de l'humus du sol et la minéralisation des résidus de culture de chou-fleur, riches en azote, auxquels se rajoutent la minéralisation des amendements organiques et les apports d'engrais minéraux. Une meilleure gestion des engrais minéraux et des amendements organiques (doses, choix des produits), l'organisation de la rotation intégrant des cultures exportant de l'azote (cultures légumières courtes de printemps, céréale de printemps) ou organisant l'azote minéral (couverts) sont les leviers à activer pour réduire les pertes d'azote dans le système. Ils sont présentés dans le cas-type CF2.